Universidad del Cauca

Química

Laboratorio Química Inorgánica Descriptiva.

Práctica #7: Proceso de Solvay.

Docente: Olga Lucia Hoyos Saavedra.

Estudiantes:

Valentina Herrera Rozo

Karol Valentina Villano Quijano

Fecha de la práctica: 8 de abril del 2025.

Fecha de entrega de la práctica: 22 de abril del 2025.

Introducción.

El método Solvay es un proceso químico utilizado para la fabricación de carbonato de sodio a nivel industrial. En donde se hace pasar amoníaco y dióxido de carbono, los dos en estado gaseoso, por una solución que se encuentra saturada de cloruro de sodio, formando hidrogenocarbonato de sodio y cloruro de amonio, las cuales son solubles en agua.

$$NaCl(ac) + NH_3(ac) + CO_2(g) + H_2O(l) \rightarrow NaHCO_3(s) + NH_4Cl(ac)$$

El hidrogenocarbonato de sodio se separa de la solución por filtración y se transforma en carbonato de sodio por calcinación:

$$2NaHCO_3(s) \rightarrow Na_2CO_3(s) + H_2O(l) + CO_2(g)$$

El cloruro de amonio obtenido se hace reaccionar con hidróxido de calcio y se recupera amoníaco:

$$2NH_4Cl(ac) + Ca(OH)_2(s) \rightarrow 2NH_3(g) + 2H_2O(l) + CaCl_2(ac)$$

El óxido de calcio se produce en la misma fábrica por calcinación de carbonato de calcio (piedra caliza) y así se produce el dióxido de carbono necesario en la primera reacción:

$$CaCO_3(s) \rightarrow CaO(s) + CO_2(g)$$

Se consumen grandes cantidades de carbonato de sodio en la fabricación de jabones, polvos de jabón, vidrio y depuradores de aguas duras.[1]

En este proceso, el amoníaco cumple una función clave como regulador del pH. Al reaccionar con los iones H^+ que se liberan por la disolución de CO_2 en agua, mantiene un medio básico que favorece la formación y precipitación de $NaHCO_3$. Esto evita su disolución, facilitando su separación. Por otro lado, el carbonato de calcio actúa como fuente de dióxido de carbono y de óxido de calcio. Este último, al hidratarse, forma hidróxido de calcio, el cual permite recuperar el amoníaco del cloruro de amonio generado, lo que hace al proceso más eficiente, económico y sostenible.[2]

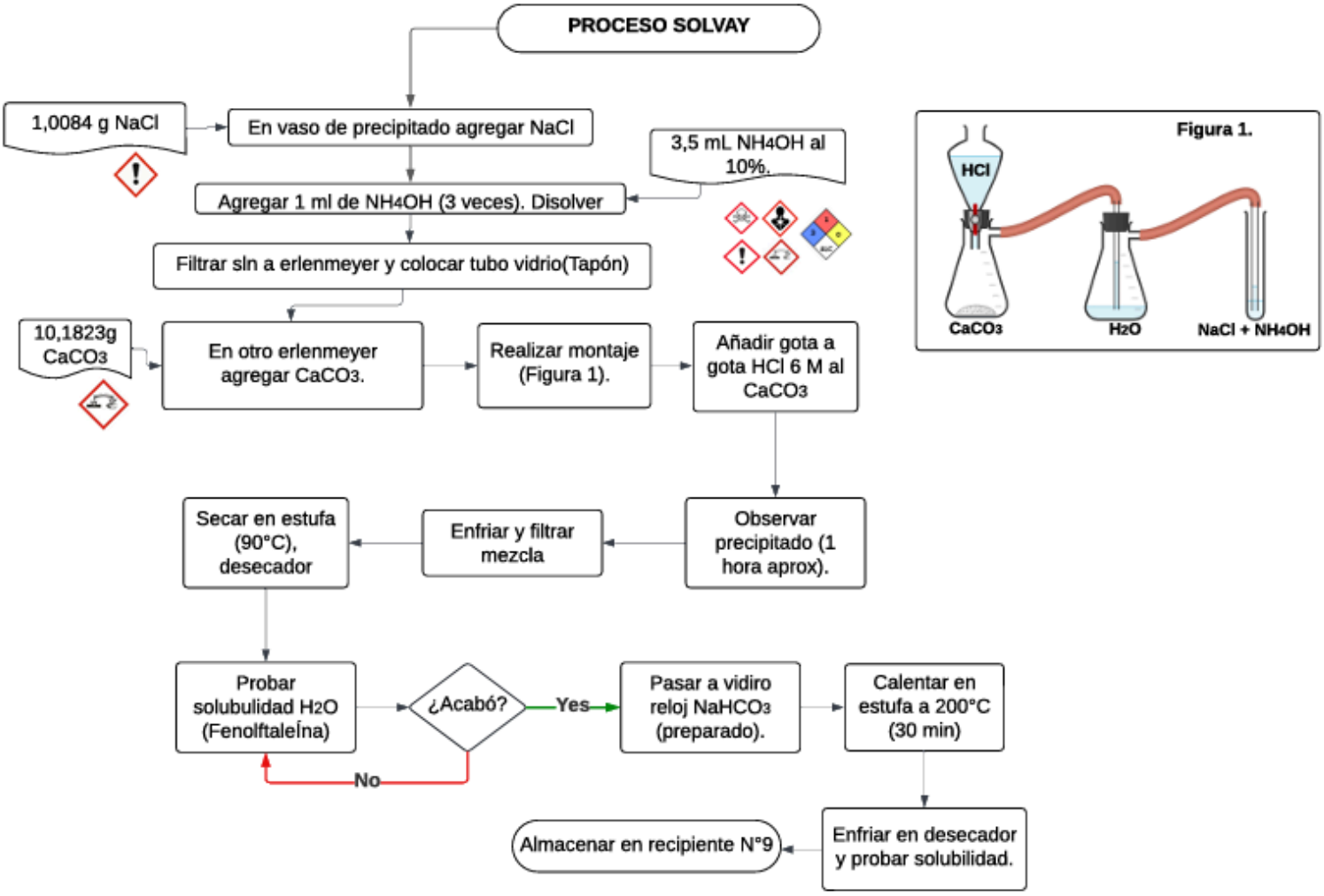
$$Na_2H(CO_3)_2 \cdot 2H_2O$$

El mineral trona, está compuesto químicamente por trisodio hidrogenocarbonato dihidratado. La trona, se forma comúnmente en ambientes evaporíticos, como lagos salinos, donde la evaporación del agua es mas rapida que la reposición de la misma, lo que genera que se encuentren altas concentraciones de sales disueltas, las cuales a medida que el agua se evapora, se precipitan y forman minerales. Uno de los principales yacimientos de trona, se encuentra en Green River Basin, en Wyoming E.E.U.U, al igual que en Egipto, China,Kenia y Turquía.[3]

Objetivo:

- Reproducir el proceso de Solvay en el laboratorio mediante la obtención de $NaHCO_3$ y Na_2CO_3, evaluando su rendimiento.
- Comprender las limitaciones dentro del laboratorio que afectan la eficiencia de la síntesis.

Diagrama de Flujo



Datos y resultados

Tabla 1. Rendimiento de los compuestos obtenidos.

Compuesto	Masa (g)	% Rendimiento	Solubilidad en agua	Color (Fenolftaleína)
$NaHCO_3$	0,3282	22,6%	Si	Verde
Na_2CO_3	0,0824	9,01%	Si	Azul

Reacción 1:

$$NaCl_{(ac)} + NH_{3\,(ac)} + CO_{2\,(g)} + H_2O_{(l)} \rightarrow NaHCO_{3(s)} + NH_4Cl_{(ac)}$$

Inicialmente se pesa 1,0084 g NaCl que reaccionan con hidróxido de amonio (NH_4OH)

$$1,0084\ g\ NaCl\left(\frac{1\ mol\ NaCl}{58,44\ g\ NaCl}\right) = 0,01725\ mol\ NaCl\left(\frac{1\ mol\ NaHCO_3}{1\ mol\ NaCl}\right) = 0,01725\ mol\ NaHCO_3$$

$$0,01725\ mol\ NaHCO_3\left(\frac{84,01\ g\ NaHCO_3}{1\ mol\ NaHCO_3}\right) = 1,4496\ g\ NaHCO_3$$

$$\%\ Rendimiento = \frac{0,3282\ g}{1,4496\ g} * 100 = 22,6\%$$

Reacción 2:

$$2\ NaHCO_{3\,(s)} \xrightarrow{\triangle} Na_2CO_{3\,(s)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)}$$

$$0,01725\ mol\ NaHCO_3\left(\frac{1\ mol\ Na_2CO_3}{2\ mol\ NaHCO_3}\right)\left(\frac{105,99\ g\ Na_2CO_3}{1\ mol\ Na_2CO_3}\right) = 0,9142\ g\ NaHCO_3$$

$$\%\ Rendimiento = \frac{0,0824\ g}{0,9142\ g} * 100 = 9,01\%$$

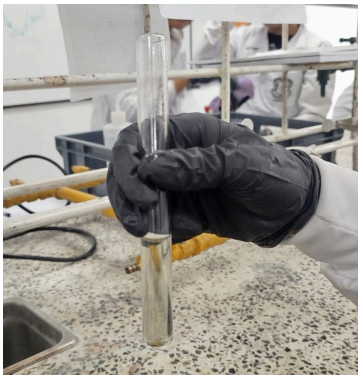


Imagen 1. Cambio del indicador azul de timol con $NaHCO_3$.

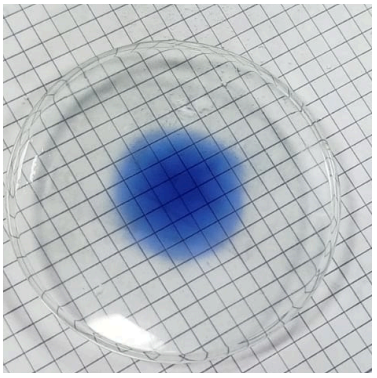


Imagen 2. Cambio del indicador azul de timol con Na_2CO_3.

Discusión

En el desarrollo experimental del proceso de Solvay, se logró la síntesis secuencial de bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$) y carbonato de sodio (Na_2CO_3) a partir de cloruro de sodio (NaCl) como reactivo inicial y carbonato de calcio ($CaCO_3$) el cual proprocionó el dioxido de carbono (CO_2). El procedimiento permitió observar las características de cada compuesto formado, así como calcular el rendimiento de ambas etapas del proceso.

En la primera parte de la reacción, el NaCl reaccionó con una mezcla de amoníaco, dióxido de carbono y agua para formar $NaHCO_3$ como precipitado. A partir de 1,0084 g de NaCl, que equivale a 0,01725 moles, se esperaba obtener un rendimiento teórico de 1,4496 g de bicarbonato de sodio. No obstante, la masa real obtenida fue de 0,3282 g, lo que representa un

rendimiento del 22,6 %. Este bajo porcentaje puede deberse a la pérdida de producto durante el proceso de la filtración debido a que se manipuló manualmente y se observó que quedó parte del precipitado en el tubo de ensayo.

En cuanto a las propiedades del $NaHCO_3$ obtenido, se comprobó su solubilidad en agua y se observó un color verde al añadir azul de timol, lo cual indica un pH ligeramente básico, característico de una base débil como el bicarbonato.

Por otro lado, la segunda etapa consistió en la descomposición térmica del $NaHCO_3$ para formar Na_2CO_3, agua y dióxido de carbono. Basándose en la estequiometría de la reacción, se esperaba una masa teórica de 0,9142 g de carbonato de sodio, pero la cantidad real obtenida fue de solo 0,0824 g, equivalente a un rendimiento del 9,01 %, al igual que el anterior la baja obtención de

De igual forma, el carbonato de sodio también mostró ser soluble en agua, y su reacción con azul de timol produjo una coloración azul, lo que indica es más básico en comparación con el bicarbonato, lo cual tiene sentido porque el carbonato es una base más fuerte.

En conjunto, los resultados obtenidos permiten validar el proceso químico a nivel cualitativo, aunque los bajos rendimientos reflejan limitaciones inherentes a la experimentación en laboratorio, como el control de reactivos, condiciones de reacción y manipulación de materiales. A pesar de ello, la práctica fue útil para ilustrar los principios del proceso de Solvay.

Conclusiones

- El proceso de Solvay se llevó a cabo con éxito en el laboratorio, permitiendo la obtención de $NaHCO_3$ y Na_2CO_3, aunque con rendimientos bajos debido a pérdidas de material y condiciones experimentales no ideales.
- La práctica evidenció cómo factores como la eficiencia en la transferencia de sustancias influyen directamente en la cantidad de producto obtenido, resaltando las diferencias entre la teoría y la aplicación práctica.

Preguntas

1. Comparar desde un punto de vista verde (calcular la economía atómica), el proceso de Solvay con el de calcinación del mineral trona.

La reacción que resume la obtención de carbonato de sodio por el método solvay es la siguiente:

$$2NaCl_{(ac)} + CaCO_{3\,(s)} + H_2O_{(l)} + CO_{2(g)} + NH_{3\,(ac)} \rightarrow Na_2CO_{3\,(s)} + CaCl_{2\,(ac)} + NH_{3(ac)} + H_2O_{(l)}$$

La economía atómica (EA) es un criterio fundamental de la química verde que evalúa la eficiencia de un proceso químico en función del aprovechamiento de los átomos de los reactivos en la formación del producto deseado. Cuanto mayor es la economía atómica, menor es la cantidad de residuos generados, lo cual hace que el proceso sea más sustentable.

La economía atómica, se calcula de la siguiente manera:

$$\%EA = \frac{Masa\ molar\ del\ producto\ deseado}{\sum masas\ molares\ de\ todos\ los\ reactivos} * 100$$

En la ecuación del proceso solvay, no se tiene en cuenta la masa molar del $NH_3\ y\ H_2O$, ya que estos se reciclan. El $CaCl_2$tampoco se tiene en cuenta, ya que este no interfiere ni aporta en el producto deseado.

$NaCl = 58,42 * 2 = 116,84\ g/mol$

$CaCO_3 = 100,02\ g/mol$

Na_2CO_3=105,99 g/mol

$\%EA = \frac{105,99}{222,83} * 100 = 47,56\ \%$

Este es el valor máximo posible asumiendo reacciones completas y sin pérdidas.[1]

Al calcinar el mineral trona, se obtiene la siguiente reacción:

$$2Na_2H(CO_3)_2 \cdot 2H_2O \rightarrow 2Na_2CO_3 + 3H_2O + CO_2$$

$Na_2H(CO_3)_2 \cdot 2H_2O = 226,03\ g/mol * 2 = 452,06\ g/mol$

$Na_2CO_3 = 105,99\ g/mol * 2 = 211,98\ g/mol$

$\%EA = \frac{211,98}{452,06} * 100 = 46,89\ \%$

Aunque el proceso de calcinación de trona tiene una economía atómica ligeramente menor del 46,89% comparada con el proceso Solvay del 47,56 %, este último genera un subproducto ($CaCl_2$) que no siempre es aprovechado y puede representar una carga ambiental. Además, el proceso con trona es más directo, consume menos insumos y libera solo vapor de agua y CO_2, por lo que sigue siendo considerado más verde en términos de simplicidad, residuos y eficiencia operativa general.

2. Investigar el procedimiento del proceso Leblanc para producir carbonato de sodio, escribir las ecuaciones balanceadas y explicar sus desventajas frente al proceso Solvay.

El proceso Leblanc fue el primer proceso industrial que permitía obtener a gran escala carbonato de sodio a partir de sal. Este método dio un gran impulso a las industrias del vidrio, textil, del jabón y del papel durante el siglo XIX. El médico francés Nicolas Leblanc patentó en 1871 el método que impulsa el desarrollo de la industria química. Consiguió obtener carbonato de sodio al tratar la sal con ácido sulfúrico y hacer reaccionar el sulfato de sodio resultante con carbón y caliza.

Las etapas que se llevaban a cabo, son las siguientes:

1. Conversión de cloruro de sodio (sal común) en sulfato de sodio (Na_2SO_4):

$$2NaCl_{(s)} + H_2SO_{4\,(ac)} \rightarrow Na_2SO_{4\,(s)} + 2HCl \uparrow$$

2. Se reduce el sulfato de sodio con carbón y piedra caliza:

$$Na_2SO_{4\,(s)} + 2C_{(s)} + CaCO_{3\,(s)} \rightarrow Na_2CO_{3\,(s)} + CaS_{(s)} + 2CO_2 \uparrow$$

El proceso Leblanc generó un gran problema de contaminación a gran escala, ya que el HCl (cloruro de hidrógeno) generado era emitido directamente a la atmósfera y el sulfuro de calcio se acumulaba en los alrededores desprendiendo el pestilente y tóxico sulfuro de hidrógeno, este procedimiento para producir carbonato de sodio resultaba caro y altamente contaminante, sus residuos tóxicos y la falta de reciclaje de reactivos elevaban los costos y dañaban el ambiente.En cambio, el método Solvay lo reemplazó por ser más eficiente, limpio y económicamente rentable,su bajo costo y uso de materias primas abundantes favorecieron el desarrollo industrial.[4][5]

3. Consultar las aplicaciones industriales del carbonato y bicarbonato de sodio.

El carbonato de sodio (Na_2CO_3), es un compuesto inorgánico el cual se utiliza en diversas industrias debido a sus propiedades alcalinas y su capacidad para reaccionar con ácidos y sales.

Una de sus aplicaciones más importantes se encuentra en la fabricación de vidrio, donde actúa como fundente al reducir la temperatura de fusión de la sílice, facilitando así la producción de vidrio sodocálcico, el tipo más común utilizado en envases y ventanas. Por otro lado, en el tratamiento de aguas, se utiliza como ablandador, al precipitar iones de calcio y magnesio que causan dureza.

De igual forma, en industria química el carbonato de sodio es un insumo clave en la síntesis de diversos productos como sosa cáustica (NaOH), bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$), sulfatos, sulfitos y fosfatos, todos esenciales para distintas aplicaciones industriales. Por su parte, en la industria textil, se emplea para fijar colorantes en las fibras durante el teñido, mejorando la solidez del color.

Y por último el sector alimentario, se utiliza como regulador de acidez y a su vez como aditivo en productos horneados, contribuyendo a controlar el pH y mejorar la textura. Además, participa en la fabricación de papel, especialmente en la producción de pastas semi-químicas, y en la industria minera, se aplica en procesos de flotación y separación de minerales, donde facilita la recuperación de metales valiosos.[6]

El bicarbonato de sodio ($NaHCO_3$) es un compuesto de gran versatilidad con múltiples aplicaciones industriales. En la industria alimentaria, se emplea principalmente como agente leudante en productos horneados, en el cual facilita la liberación de dióxido de carbono para dar volumen a las masas. Además, se utiliza como conservador en productos lácteos y como estabilizador en bebidas carbonatadas.

Por otro lado en el ámbito farmacéutico y cosmético, el bicarbonato se incorpora en la elaboración de antiácidos, gracias a su capacidad para neutralizar el exceso de acidez estomacal, y también en productos de higiene personal como pastas dentales y desodorantes, por su efecto abrasivo suave y su capacidad para controlar olores.

De igual forma, en la química actúa como un neutralizador de ácidos en distintos procesos, desempeñando un papel clave en el control del pH. Asimismo, es ampliamente utilizado en el

sector de la limpieza, como ingrediente activo en productos domésticos y detergentes, debido a su capacidad desodorizante y su leve acción abrasiva.

Por último, en el sector agrícola, el bicarbonato de sodio destaca como un pesticida y fungicida no tóxico, lo que lo convierte en una opción segura y efectiva dentro de prácticas de agricultura orgánica.[7]

Referencias

[1]Manahan, S. E. *Reacciones Químicas Industriales - El Proceso Solvay*. En La química verde y los diez mandamientos de la sustentabilidad [Recuperado 15 de abril del 2025]. 5.13: Reacciones Químicas Industriales - El Proceso Solvay - LibreTexts Español

[2] Shakhashiri, B. Z. *Sodium Hydrogen Carbonate and Sodium Carbonate*. [Recuperado 16 de abril del 2025]. SodiumHydrogen-SodiumCarbonate2017.pdf

[3]Asturnatura. *Trona*. [Recuperado 16 de abril del 2025]. https://www.asturnatura.com/mineral/trona/1251.html

[4]Fundación Desqbre. *El proceso Leblanc*. Clickmica. [Recuperado 17 de abril del 2025]. https://clickmica.fundaciondescubre.es/conoce/descubrimientos/el-proceso-leblanc/

[5]Cervera, L; Izquierdo, L.; Labbrozzi, J.; Moreno, M.; Outeiral, E. & Vidal, R. *Planta de producción de carbonota sódico* (Pag 6 - 12) [Recuperado 17 de abril del 2025]. https://ddd.uab.cat/pub/trerecpro/2006/hdl_2072_3575/projecte_c1-c2.pdf

[6]Pochteca. *Carbonato de sodio: aplicaciones industriales y beneficios*. [Recuperado el 17 de abril de 2025]. https://mexico.pochteca.net/carbonato-de-sodio/

[7]PCC, G. *Bicarbonato de sodio – propiedades y aplicaciones*. [Recuperado17 de abril del 2025].https://www.products.pcc.eu/es/blog/bicarbonato-de-sodio-propiedades-y-aplicaciones/